

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 784 815

(21) N° d'enregistrement national : 98 13120

(51) Int Cl⁷ : H 02 K 1/22

ADS

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 20.10.98.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la
demande : 21.04.00 Bulletin 00/16.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

(60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

(71) Demandeur(s) : VALEO EQUIPEMENTS ELECTRI-
QUES MOTEUR Société anonyme — FR.

(72) Inventeur(s) : BESBES MONDHER, PIVETTE LUC,
GABSI MOHAMED, PICOD CHRISTOPHE et PELLE
ERIC.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : REGIMBEAU.

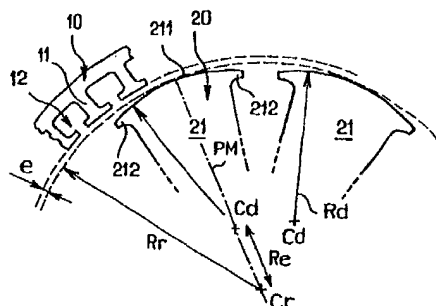
(54) MACHINE ELECTRIQUE TOURNANTE, EN PARTICULIER ALTERNATEUR DE VEHICULE AUTOMOBILE,
POSSEDANT DES MOYENS PERFECTIONNES DE REDUCTION DE BRUIT.

(57) Une machine électrique tournante possède un rotor
(20) et un stator (10), le rotor comportant une pluralité de pô-
les définis par des dents (21).

Selon l'invention, au moins certaines dents du rotor pré-
sentent une surface d'entrefer (211) dont la section trans-
versale présente au moins localement la forme générale
d'une courbe dont le ou les centres de courbure (Cd) sont
éloignés de l'axe de rotation (Cr) du rotor.

On joue ainsi sur la distribution harmonique du bruit
acoustique d'origine magnétique de la machine, pour rédui-
re le bruit dans les plages nominales de fonctionnement de
la machine.

Application notamment aux alternateurs et alterno-dé-
marreurs de véhicules automobiles.



FR 2 784 815 - A1



La présente invention concerne d'une façon générale les machines électriques tournantes possédant au moins un rotor et un stator, et dont le rotor possède une série de dents définissant des pôles de rotor, en association ou non
5 avec des bobinages et/ou des aimants permanents d'excitation.

Il est bien connu de multiplier le nombre de pôles de rotor et de stator dans une telle machine tournante.

Il est bien connu également qu'une telle approche a pour inconvénient d'engendrer un bruit acoustique d'origine magnétique qui possède des harmoniques
10 de rang élevé. Par exemple, pour un stator à 36 encoches, on engendre des composantes magnétiques telles qu'un bruit acoustique avec des composantes harmoniques de rang 36 est engendré, et ces composantes se manifestent par des pointes de bruit dans certaines zones extrêmement sensibles de la plage de vitesses de fonctionnement de la machine.

15 Dans les machines connues, la forme des dents de rotor, et en particulier de leur surface terminale d'entrefer, est conçue pour optimiser le couplage magnétique entre le rotor et le stator, afin d'optimiser la performance de la machine. Dans la pratique, cette surface est donc une portion d'un cylindre de révolution d'axe confondu avec l'axe de rotation du rotor. Ainsi, le concepteur a
20 toujours privilégié ces contraintes de performance au détriment des contraintes en termes de niveau sonore de fonctionnement.

Or la Demanderesse a découvert qu'il était possible, sans altérer sensiblement les qualités de la machine sur le plan électrotechnique, de diminuer le niveau de bruit acoustique d'origine magnétique qu'une telle machine était
25 susceptible d'engendrer.

Ainsi la présente invention vise à modifier la répartition harmonique du spectre d'un bruit acoustique d'origine magnétique et ainsi réduire sensiblement des composantes harmoniques de ce bruit, avec des moyens extrêmement simples et économiques à mettre en œuvre et sans altérer de façon significative la performance
30 de la machine.

L'invention propose à cet effet une Machine électrique tournante, et notamment alternateur ou alterno-démarreur de véhicule automobile, comprenant un rotor et un stator, le rotor comportant une pluralité de pôles définis par des dents, caractérisée en ce qu'au moins certaines dents possèdent une surface
5 d'entrefer dont la section transversale présente au moins localement la forme générale d'une courbe dont le ou les centres de courbure sont situés à distance de l'axe de rotation du rotor.

Certains aspects préférés, mais non limitatifs, de la machine tournante selon l'invention sont les suivants :

- 10 - la surface d'entrefer de chaque dent du rotor présente une telle section.
 - chaque dent présente sur toute son étendue une surface d'entrefer dont la section transversale est essentiellement une portion d'une courbe dont tous les centres de courbure sont éloignés de l'axe du rotor et situés du côté de ladite section tournée vers l'axe de rotation du rotor.
- 15 - ladite section de courbe est constituée par un ensemble de secteurs circulaires se raccordant de façon continue.
 - lesdits secteurs circulaires se raccordent sans cassure.
 - ladite section de courbe est un secteur circulaire unique.
 - le centre dudit secteur circulaire est situé sur une droite située dans le
20 plan de ladite section transversale et passant par l'axe de rotation du rotor et par le centre de ladite section de la surface d'entrefer.
 - le centre dudit secteur circulaire est situé entre l'axe de rotation du rotor et la surface d'entrefer.
 - le rapport entre le rayon de la section des dents de rotor et le rayon d'un
25 cercle dans lequel le rotor est inscrit est compris entre environ 0,7 et 0,95.
 - la section de la surface d'entrefer est formée d'une série de secteurs circulaires.
 - les secteurs circulaires sont reliés entre eux de façon continue.
 - les secteurs circulaires sont en nombre impair.

- la surface d'entrefer comprend des secteurs circulaires dont le centre est situé à l'intérieur du rotor en alternance avec des secteurs circulaires dont le centre est situé à l'extérieur du rotor.

5 - les secteurs circulaires adjacents aux encoches situées de part et d'autre d'une dent ont leur centre situé à l'intérieur du rotor.

- les secteurs circulaires ont des étendues identiques.

- les secteurs circulaires ont des étendues différentes.

- les secteurs circulaires ont des rayons identiques.

- les secteurs circulaires ont des rayons différents.

10 - les sections transversales des surfaces d'entrefer d'au moins certaines dents évoluent lorsqu'on se déplace en direction axiale le long desdites dents.

D'autres aspects, buts et avantages de la présente invention apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée suivante de formes de réalisation préférées de celle-ci, donnée à titre d'exemple non limitatif et faite en référence
15 aux dessins annexés, sur lesquels :

la figure 1 est une vue en coupe transversale d'une partie de rotor selon un premier exemple de réalisation de l'invention,

la figure 2 est une vue en coupe transversale d'une partie de rotor selon un deuxième exemple de réalisation de l'invention ,

20 la figure 3 est une vue en coupe transversale d'une forme de réalisation concrète d'une partie de rotor selon le premier exemple de réalisation de l'invention,

les figures 4 et 5 sont des graphes illustrant l'effort mécanique appliqué à une dent de stator avec un rotor selon le premier exemple de réalisation,
25 respectivement pour un rotor à aimants permanents et pour un rotor à bobinage, et

les figures 6 et 7 sont des graphes illustrant l'évolution de la force exercée sur une dent de stator par la 36^{ème} harmonique en fonction d'un paramètre du profil des dents de rotor.

En référence tout d'abord à la figure 1, on a représenté partiellement un
30 stator 10, réalisé par exemple par empilage de tôles, de façon connue en soi, qui

possède une pluralité d'encoches 12 de largeurs et d'espacements angulaires donnés pour des brins de bobinages de stator (non représentés). Ces encoches 12 sont séparées par des dents de stator 11 présentant également des largeurs et espacements angulaires donnés. Ces dents possèdent à leur extrémité libre des
5 chanfreins latéraux, de façon bien connue. En l'espèce, il s'agit d'un stator à 36 encoches et 36 dents, l'espacement angulaire entre les plans radiaux médians PM de deux dents successives étant de 10° .

La machine possède également un rotor 20 qui comporte une pluralité de dents rotoriques 21 délimitant des encoches destinées à recevoir des bobinages
10 d'excitation et/ou des aimants permanents.

De façon conventionnelle, une dent de rotor 21 possède une surface d'entrefer 211 qui présente un profil transversale en forme de secteur circulaire centré sur un centre Cr passant par l'axe de rotation du rotor, ceci de manière à assurer entre les pôles du rotor et ceux du stator un entrefer g essentiellement
15 constant.

Selon l'invention, dans la forme de réalisation de la figure 1, ce profil est un profil courbe qui est différent du profil circulaire précité, et qui présente ici la forme d'un secteur circulaire dont le rayon Rd est différent, en l'espèce plus petit, que le rayon Rr du cercle dans lequel est inscrit le rotor. Ainsi le centre de
20 courbure unique Cd de ce profil est situé à distance du centre Cr la distance entre ces deux points, c'est-à-dire l'écart de rayons, étant désigné par Re.

Comme on l'observe par ailleurs sur la figure 1, le centre Cd est de préférence situé dans un plan radial médian PM de la dent, le profil de sa surface d'entrefer étant ainsi symétrique de part et d'autre de ce plan.

25 On comprend donc que l'entrefer g entre les dents de stator et une dent de rotor individuelle 21 varie progressivement d'une valeur maximale, située au niveau d'un premier chanfrein ou griffe 212 de la dent, à une valeur maximale identique située au niveau du chanfrein opposé, en passant localement par une valeur minimale.

Comme on va l'expliquer plus loin, un tel profil permet de réduire très sensiblement les forces d'origine magnétique apparaissant entre le rotor et le stator à des fréquences harmoniques élevées par rapport à la fréquence fondamentale, et en particulier à la fréquence harmonique de rang 36, qui est connue comme participant de façon significative au niveau de bruit de fonctionnement de la machine dans ses plages normales de vitesses de rotation.

La figure 2 illustre une seconde forme de réalisation de l'invention, dans laquelle le profil de la surface d'entrefer 213 de chaque dent de rotor 21 est constituée par une série de surfaces courbes de courbures inverses, et en particulier de plusieurs secteurs circulaires se raccordant de façon continue et de préférence dérivable (c'est-à-dire sans décrochement et de préférence sans coude).

Dans cet exemple particulier, on trouve un premier secteur circulaire 213a appartenant à un cercle de centre Cda et de rayon Rd1, le centre Cda se trouvant entre le surface d'entrefer et la région centrale du rotor, et le rayon Rd1 étant sensiblement plus petit que le rayon hors-tout Rr du rotor, puis un second secteur circulaire 213b appartenant à un cercle de centre Cdb et de rayon Rd2, le centre Cdb étant ici situé à l'extérieur du rotor de sorte que les secteurs 213a et 213b se rejoignent en un point d'inflexion ; enfin un troisième secteur circulaire 213c présente un centre Cdc situé du côté intérieur du rotor et un rayon Rd1 qui est ici identique à celui du premier secteur 213a mais qui pourrait être différent. De même, le rayon Rd2 peut être égal au(x) rayons(s) Rd1 ou différent de celui-ci.

L'agencement de ces secteurs peut être symétrique ou dissymétrique par rapport au plan radial médian de la dent.

Plus généralement, on peut prévoir dans cette seconde forme de réalisation un nombre quelconque, de préférence impair, de secteurs circulaires successifs séparés à chaque fois par des points d'inflexion de façon à former un profil ondulé.

On réalise ici encore un changement du contenu spectral des forces d'origine magnétiques s'exerçant entre le rotor et le stator, et donc du bruit de fonctionnement provoqué par ces forces, en diminuant les harmoniques en particulier de rang 36 au profit d'harmoniques de rang(s) différent(s), dont la

contribution au bruit global dans la plage nominale de vitesses de fonctionnement est moins sensible.

Par ailleurs, comme on l'a déjà indiqué, le ou les profils courbes de la surface d'entrefer d'une dent de rotor peut être circulaire ou non circulaire, par exemple elliptique, sinusoïdal, ou encore parabolique, hyperbolique, etc.

La figure 3 illustre de façon concrète une partie d'un rotor selon la première forme de réalisation de l'invention, dont les encoches délimitées par chaque paire de dents adjacentes reçoivent des aimants permanents d'excitation 22. Il s'agit en l'espèce d'un rotor à douze pôles régulièrement espacés de 30° les uns par rapport aux autres, destiné à coopérer avec un stator conventionnel à 36 encoches. Sur cette figure, la courbure des surfaces d'entrefer 211 a été volontairement exagérée par souci de clarté.

On a analysé l'influence du rayon R_d de la surface d'entrefer de chaque dent sur les performances de la machine et sur son niveau de bruit d'origine magnétique, pour un rotor de diamètre hors-tout standard tel qu'illustré schématiquement sur la figure 3. Ainsi la figure 4 montre, pour différentes valeurs de l'écart de rayon R_e , l'évolution de la force magnétique radiale (F) appliquée sur une dent du stator par une dent de rotor selon la figure 3 en fonction de la position angulaire mécanique mutuelle de ces deux dents. La force est exprimée en Newtons et l'écart angulaire en degrés, la position « 15° » correspondant au cas où les plans médians de la dent de rotor et de la dent de stator sont confondus. On a ainsi représenté 7 courbes C1 à C7 correspondant respectivement à $R_e = 0$ mm, $R_e = 5$ mm, $R_e = 15$ mm, $R_e = 20$ mm, $R_e = 25$ mm et $R_e = 30$ mm. On comprend à partir de cette figure qu'il existe une gamme de valeurs de R_e pour laquelle cette force prend une allure proche d'une sinusoïde, c'est-à-dire avec des composantes harmoniques faibles, et en particulier une composante harmonique de rang 36 qui est sensiblement réduite.

La figure 5 donne une illustration analogue pour un rotor bobiné et l'on peut faire la même observation.

La figure 6 illustre quant à elle l'évolution de l'accélération d'origine magnétique due à l'harmonique 36 (F_{36} exprimée en m/s^2) en fonction de la valeur de R_e exprimée en mètres). pour un rotor bobiné, on observe qu'il existe une valeur optimale de R_e pour laquelle cette force, et donc le bruit acoustique correspondant, est minimale, cette valeur étant ici de 15 mm.

La figure 7 illustre les évolutions correspondantes pour un rotor à aimants permanents, et l'on observe également qu'il existe une valeur de R_e , ou en tout cas une gamme étroite de valeurs de R_e , pour laquelle cette force est minimale, de même que le bruit acoustique correspondant.

On comprend que la valeur optimale de R_e peut varier assez sensiblement en fonction de certains paramètres de la machine, et en particulier du nombre de dents au rotor, du nombre de dents au stator, du diamètre du rotor, de la valeur nominale de l'entrefer, de la forme et de la taille des chanfreins 212 ou autres griffes ou talons, etc... Dans la pratique, on procède, sur une machine donnée, par approximations successives ou par calcul pour obtenir la valeur R_e adéquate.

Naturellement, cette valeur de R_e ne doit pas provoquer de pertes substantielles de performance de la machine, et l'on tient compte également de cet aspect dans le choix de la valeur de R_e . A cet égard, des calculs ont permis de démontrer que, dans l'exemple précité où la valeur de R_e est d'environ 15 mm, la perte de couple occasionnée par la forme spécifique des dents de rotor est de l'ordre de 5 à 8%. On peut toutefois observer ici qu'en règle générale, le rapport entre le rayon R_d et le rayon R_r dans les formes de réalisation des figures 1 et 2 est préférentiellement compris entre 0,7 et 0,95.

L'homme du métier comprendra aisément que de nombreuses variantes et sophistications peuvent être envisagées pour contrôler de façon plus ou moins fine l'atténuation du bruit. En particulier, outre les variations décrites plus haut, on peut prévoir de faire évoluer la section des dents de rotor lorsqu'on se déplace le long de celles-ci dans la direction de l'axe de rotation. On peut en particulier jouer sur l'étendue et le rayon du ou des secteurs circulaires.. Le cas échéant, on peut donner

à ces profils une évolution aléatoire ou pseudo-aléatoire. Ces variations de section ou de position peuvent s'effectuer de façon progressive ou par sauts.

On peut par ailleurs choisir de donner un premier profil à la surface d'entrefer de certaines dents, et un profil différent à la surface d'entrefer d'autres
5 dents, etc..., ou encore prévoir que certaines dents soient réalisées de la façon conventionnelle.

On peut aussi prévoir des profils qui s'appliquent non pas sur toute l'étendue axiale des dents, mais seulement sur une ou plusieurs parties distinctes de cette étendue.

10 On comprend que ces différents profils peuvent être réalisés tout à fait facilement lors des opérations de découpage des tôles du paquet de tôles formant le rotor.

La présente invention s'applique à tout type de machine tournante avec rotor à dents, et en particulier aux alternateurs et alerno-démarreurs de véhicules
15 automobiles. Elle s'applique en outre aux machines à rotor simple ou multiple, et à rotor bobiné ou non bobiné. On observera à cet égard que les machines à rotor non bobiné engendrent en général, du fait des forces engendrées par la réluctance variable, des bruits d'origine magnétique plus importants que les machines à rotor bobiné, et que l'invention y trouvera donc une application particulièrement
20 appréciable.

Elle s'applique également quel que soit le nombre de dents.

REVENDICATIONS

1. Machine électrique tournante, et notamment alternateur ou
5 alerno-démarrreur de véhicule automobile, comprenant un rotor (20) et un stator
(10), le rotor comportant une pluralité de pôles définis par des dents (21),
caractérisée en ce qu'au moins certaines dents du rotor possèdent une surface
d'entrefer (211 ; 213) dont la section transversale présente au moins localement la
forme générale d'une courbe dont le ou les centres de courbure (Cd ; Cda-Cdc)
sont situés à distance de l'axe de rotation (Cr) du rotor.
- 10 2. Machine selon la revendication 1, caractérisée en ce que la
surface d'entrefer de chaque dent (21) du rotor (20) présente une telle section.
3. Machine selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisée en ce
15 que chaque dent (21) présente sur toute son étendue une surface d'entrefer (211)
dont la section transversale est essentiellement une portion d'une courbe dont tous
les centres de courbure (Cd) sont éloignés de l'axe du rotor et situés du côté de
ladite section tourné vers l'axe de rotation (Cr) du rotor.
- 20 4. Machine selon la revendication 3, caractérisée en ce que ladite
section de courbe est constituée par un ensemble de secteurs circulaires se
raccordant de façon continue.
5. Machine selon la revendication 4, caractérisée en ce que lesdits
25 secteurs circulaires se raccordent sans cassure.
6. Machine selon la revendication 3, caractérisée en ce que ladite
section de courbe est un secteur circulaire unique.

7. Machine selon la revendication 6, caractérisée en ce que le centre (Cd) dudit secteur circulaire est situé sur une droite située dans le plan de ladite section transversale et passant par l'axe de rotation du rotor et par le centre de ladite section de la surface d'entrefer (211).

5

8. Machine selon l'une des revendications 6 et 7, caractérisée en ce que le centre (Cd) dudit secteur circulaire est situé entre l'axe de rotation (Cr) du rotor et la surface d'entrefer (211).

10

9. Machine selon la revendication 8, caractérisée en ce que le rapport entre le rayon (Rd) de la section des dents de rotor et le rayon (Rr) d'un cercle dans lequel le rotor est inscrit est compris entre environ 0,7 et 0,95.

10. Machine selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisée en ce que la section de la surface d'entrefer (213) est formée d'une série de secteurs circulaires (213a-213c).

15

11. Machine selon la revendication 10, caractérisée en ce que les secteurs circulaires (213a-213c) sont reliés entre eux de façon continue.

20

12. Machine selon la revendication 11, caractérisée en ce que les secteurs circulaires (213a-213c) sont en nombre impair.

13. Machine selon la revendication 12, caractérisée en ce que la section de la surface d'entrefer comprend des secteurs circulaires (213a, 213c) dont le centre (Cda, Cdc) est situé à l'intérieur du rotor en alternance avec des secteurs circulaires (213b) dont le centre (Cdb) est situé à l'extérieur du rotor.

25

14. Machine selon la revendication 13, caractérisé en ce que les secteurs circulaires (213a, 213c) adjacents aux encoches situées de part et d'autre d'une dent (21) ont leur centre situé à l'intérieur du rotor.

5 15. Machine selon l'une des revendications 10 à 14, caractérisé en ce que les secteurs circulaires (213a-213c) ont des étendues identiques.

16. Machine selon l'une des revendications 10 à 14, caractérisé en ce que les secteurs circulaires (213a-213c) ont des étendues différentes.

10

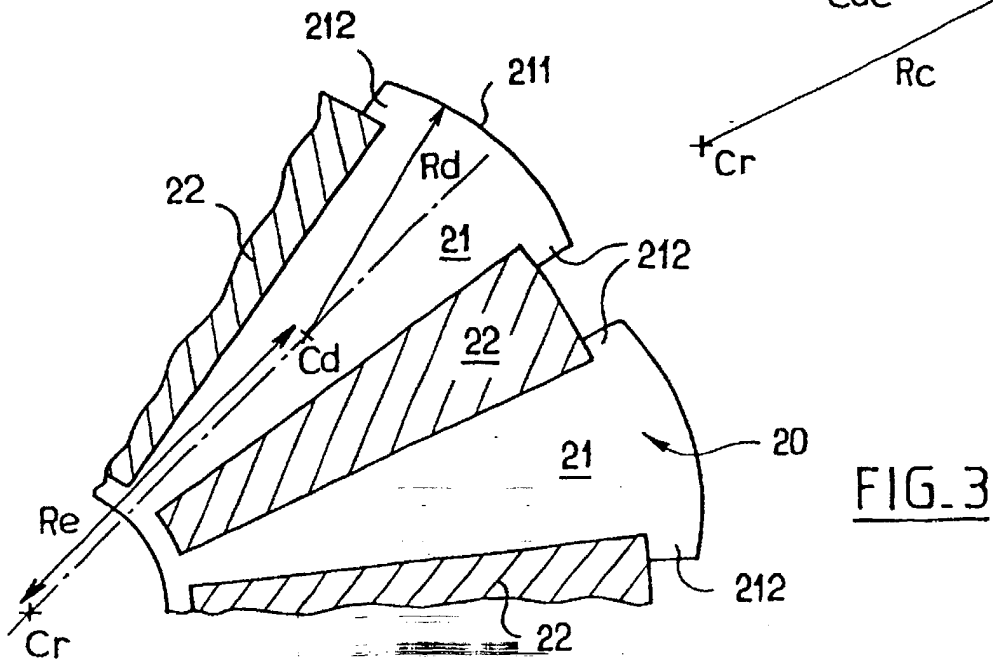
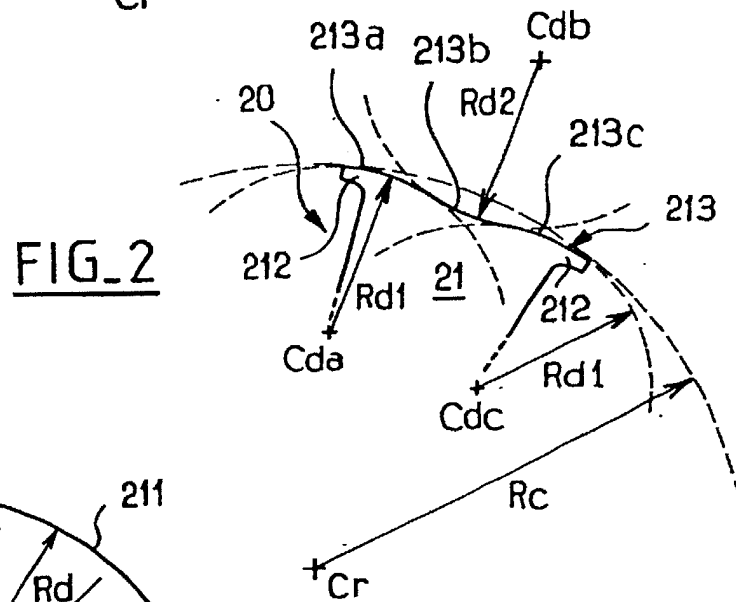
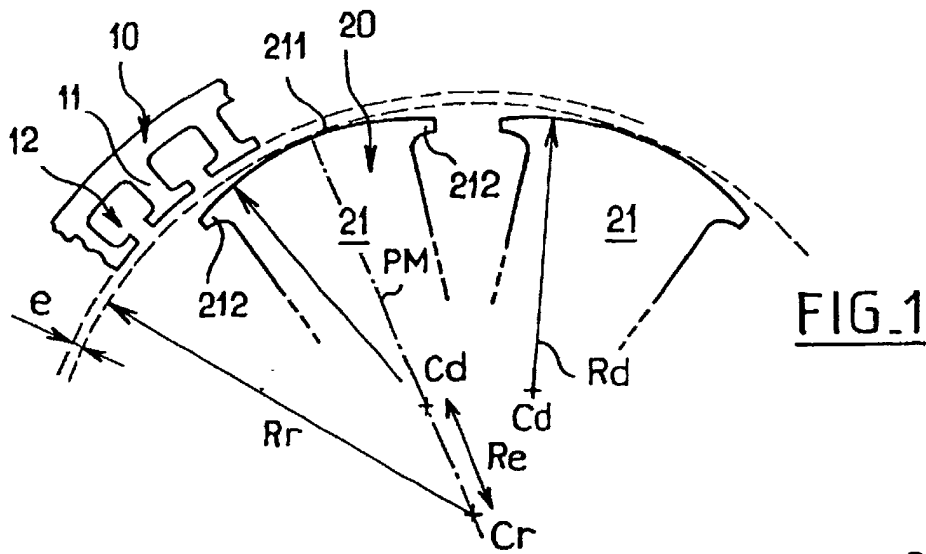
17. Machine selon l'une des revendications 10 à 16, caractérisé en ce que les secteurs circulaires (213a-213c) ont des rayons (Rd1, Rd2) identiques.

18. Machine selon l'une des revendications 10 à 16, caractérisé en ce
15 que les secteurs circulaires (213a-213c) ont des rayons (Rd1, Rd2) différents.

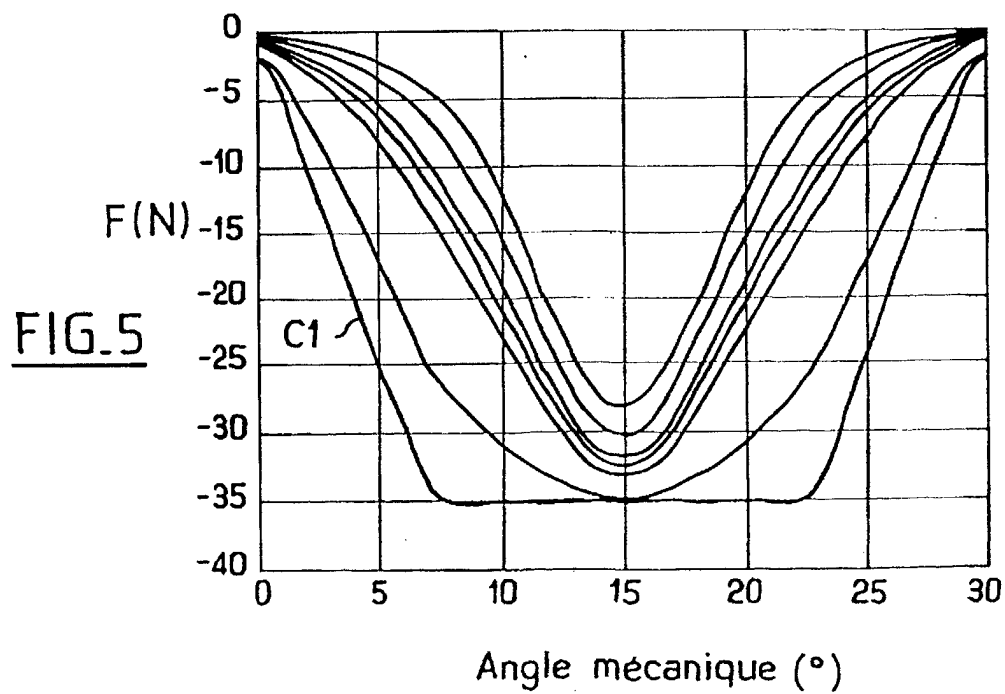
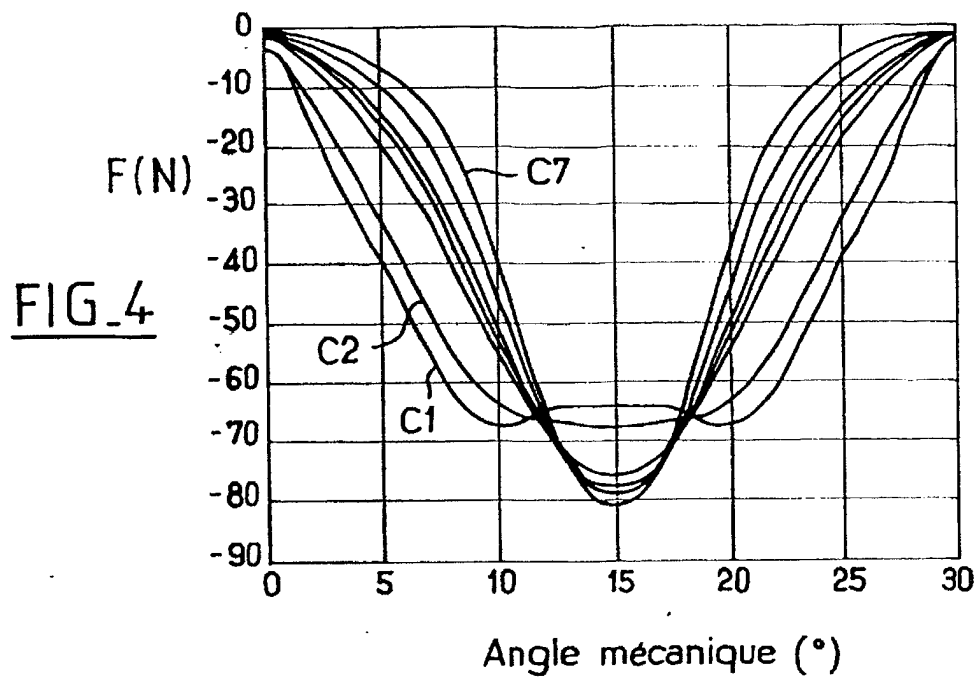
19. Machine selon l'une des revendications 1 à 18, caractérisée en ce que les sections transversales des surfaces d'entrefer d'au moins certaines dents (21) évoluent lorsqu'on se déplace en direction axiale le long desdites dents.

20

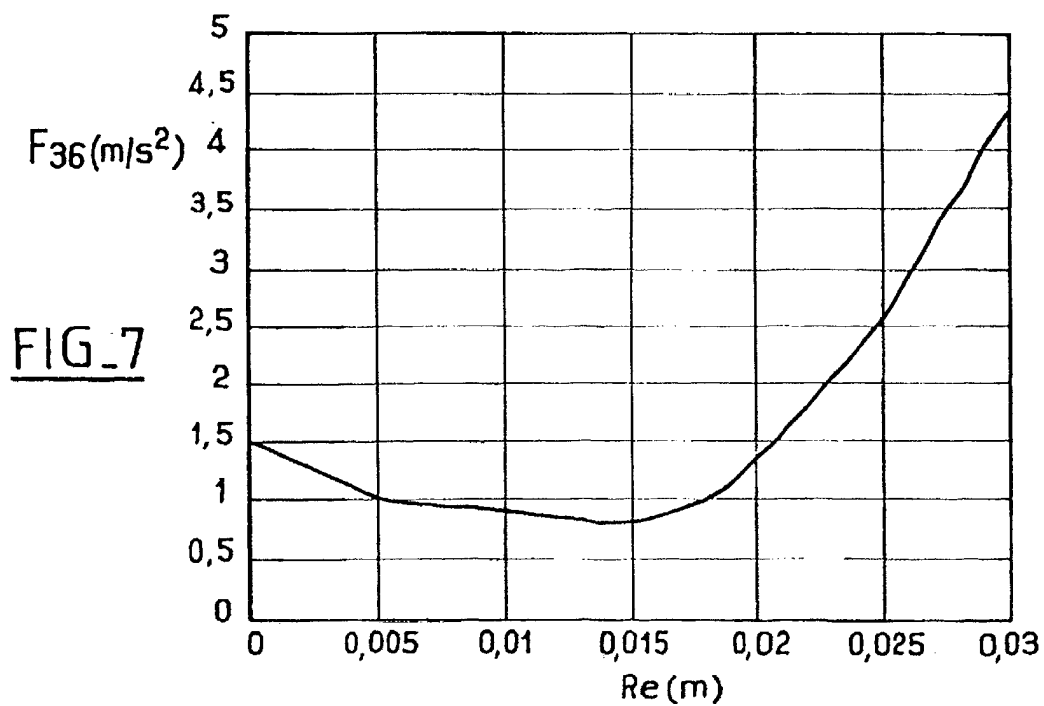
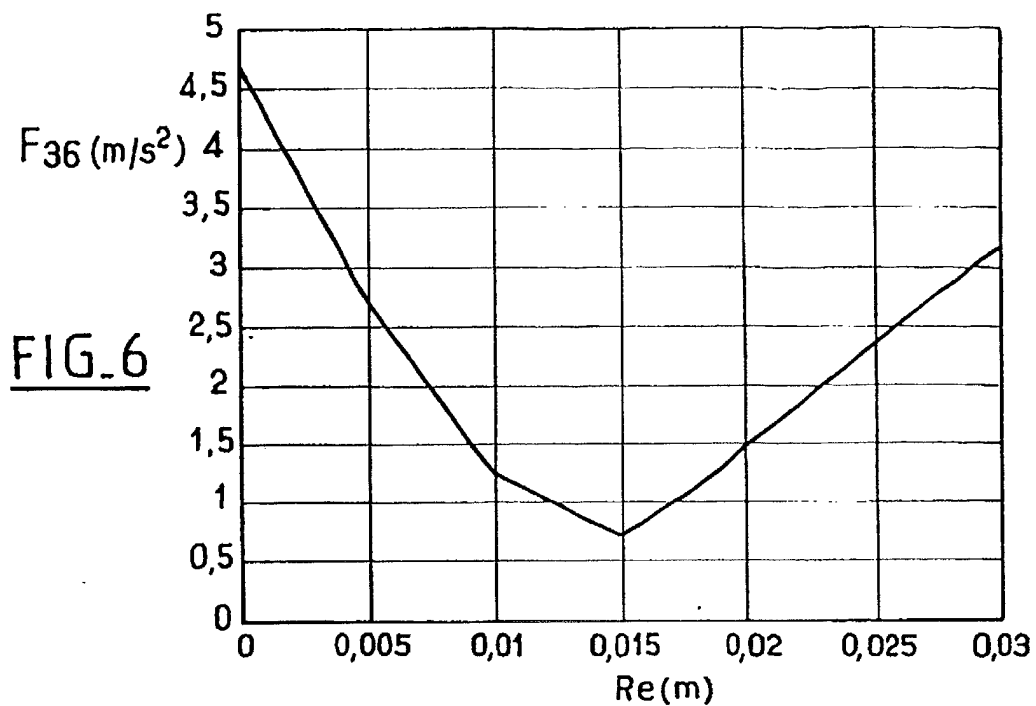
1 / 3



2 / 3



3 / 3



INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIRE**
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 567182
FR 9813120

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	GB 2 206 002 A (MABUCHI MOTOR CO) 21 décembre 1988 * page 7, ligne 6 - ligne 14; figures 3,4 *	1-4, 10-16, 18
X	FR 2 650 713 A (ALSTHOM GEC) 8 février 1991 * page 3, ligne 32 - page 4, ligne 10; figure 2 *	1-9
X	DE 436 789 C (SIEMENS) 10 février 1924 * figure 1 *	1-9
X	EP 0 549 241 A (GEN ELECTRIC) 30 juin 1993 * colonne 3, ligne 33 - colonne 4, ligne 6; figure 2 *	1-6
X	DE 494 439 C (BERGMANN-ELEKTRICITÄTS-WERKE) 1 décembre 1923	1-9
A	* figures 1,2 *	10, 11
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
		H02K
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
6 juillet 1999		Zoukas, E
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		